

Contaminación de suelos



Lic. MSci Silvana I. Torri
Recursos Naturales y Ambiente
torri@agro.uba.ar

Objetivos de la Clase

- ✦ Identificar las principales fuentes de contaminación con sustancias inorgánicas en los Agroecosistemas
- ✦ Conocer los factores que afectan la biodisponibilidad de los contaminantes inorgánicos
- ✦ Analizar las consecuencias de la contaminación de suelos con sustancias inorgánicas

Definiciones

Contaminante

Todo compuesto químico o material que se encuentra fuera de su lugar de origen, o está presente en concentraciones mayores que las normales, que puede originar algún desequilibrio en el sistema

Polución

Es la presencia de ciertos compuestos debido a la actividad antrópica a una concentración tal que significan un riesgo para la persona que utiliza el recurso o genera una restricción para su uso (Finney, 1987)

Contaminación de Suelos

Según la FAO es una forma de degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo.

Un **sitio contaminado** describe zonas que presentan materiales o residuos que, por sus cantidades y características, pueden representar un riesgo para la salud humana, los organismos vivos o el aprovechamiento de bienes o propiedades



Clasificación de la contaminación

En función de su origen

✚ Contaminación natural

procesos de meteorización

procesos de lavado

actividad volcánica

influencia marina

excrementos de aves

Clasificación de la contaminación

En función de su origen

- ✚ Contaminación natural

- ✚ Contaminación antrópica

 - acumulación de desechos industriales

 - minería

 - aplicación de agroquímicos

 - ruptura de tanques de almacenamiento

 - filtraciones de rellenos sanitarios, etc.

En función de la extensión de la fuente

◆ Contaminación puntual

producida por un foco emisor determinado, afectando una zona concreta.

◆ Contaminación lineal

◆ Contaminación difusa

su origen no puede identificarse con precisión, aparece en zonas amplias, y el contaminante se encuentra homogéneamente distribuido

Tipos de Contaminantes

- ◆ Contaminantes inorgánicos

Se acumulan en los ecosistemas

- ◆ Contaminantes orgánicos

Son potencialmente capaces de ser degradados



Metales pesados

Elementos con densidad igual o superior a 5 g/cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos).

Su concentración en la corteza terrestre es casi siempre menor del 0.01%.

Existen dos grupos:

Micronutrientes (para especies vegetales)

B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn. Ni?

Metales pesados sin función biológica conocida., pero que pueden llegar a inhibir procesos enzimáticos: As, Cd, Hg, Pb, Sb, Bi, Sn, Tl, Co, Cr, Se, etc ...

Elementos
Potencialmente
Tóxicos (EPT)

Concentraciones geoquímicas normales y anómalas de algunos elementos traza en los suelos

Elemento	Rango normal (ppm)	Concentraciones anómalas (ppm)
As	<5-40	Hasta 2500
Cd	<1-2	Hasta 30
Cu	feb-60	Hasta 2000
Mo	<1-5	10-100
Ni	2-100	Hasta 8000
Pb	10-150	10000 o más
Se	<1-2	hasta 500
Zn	25-200	10000 o más

Bowie, Thornton, 1985

Vida media y tiempo de residencia de algunos metales pesados en los suelos.

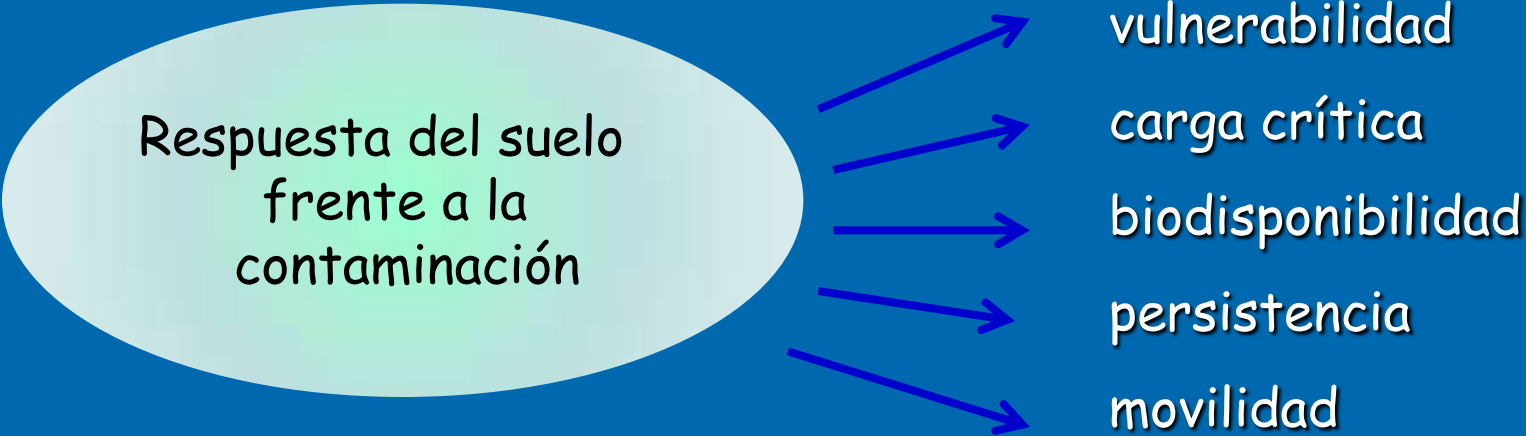
Elemento	1ª vida media, según estudios de lixiviación (Limura et al, 1977).	Tiempo de residencia, en clima templado (Bowen, 1979).
	-----Años-----	
Ni		1000 a 3000
Cu	310 a 1500 años	1000 a 3000
Zn	70 a 510	1000 a 3000
Se		1000 a 3000
Cd	13 a 1100	75 a 380
Hg		500 ^a 1000
Pb	740 a 5900	1000 a 3000

Niveles Guía de Calidad de Suelos según Decreto 831/93 (Ley 24051)

Elemento	Concentración Media	Niveles Guía de Calidad de Suelos Para Uso		
		Agrícola	Residencial	Industrial
Arsénico	15,20	20	30	50
Cadmio	0,48	3	5	20
Cobre	144,70	150	100	500
Cromo	313,70	750	250	800
Mercurio	1,22	0,8	2	20
Plomo	122,10	375	500	1000

Efectos desfavorables de la contaminación

- destrucción del poder de autodepuración de los suelos
- disminución del crecimiento normal de los microorganismos del suelo, o bien alteración de su biodiversidad.
- disminución de los rendimientos de los cultivos, ingreso a la cadena trófica
- contaminación de aguas superficiales y subterráneas por procesos de transferencia.



Respuesta del suelo
frente a la
contaminación

A diagram with a light green oval on the left containing the text 'Respuesta del suelo frente a la contaminación'. Five blue arrows point from the right side of the oval to a list of five factors on the right: 'vulnerabilidad', 'carga crítica', 'biodisponibilidad', 'persistencia', and 'movilidad'. The background is blue with faint white concentric circles at the bottom.

vulnerabilidad

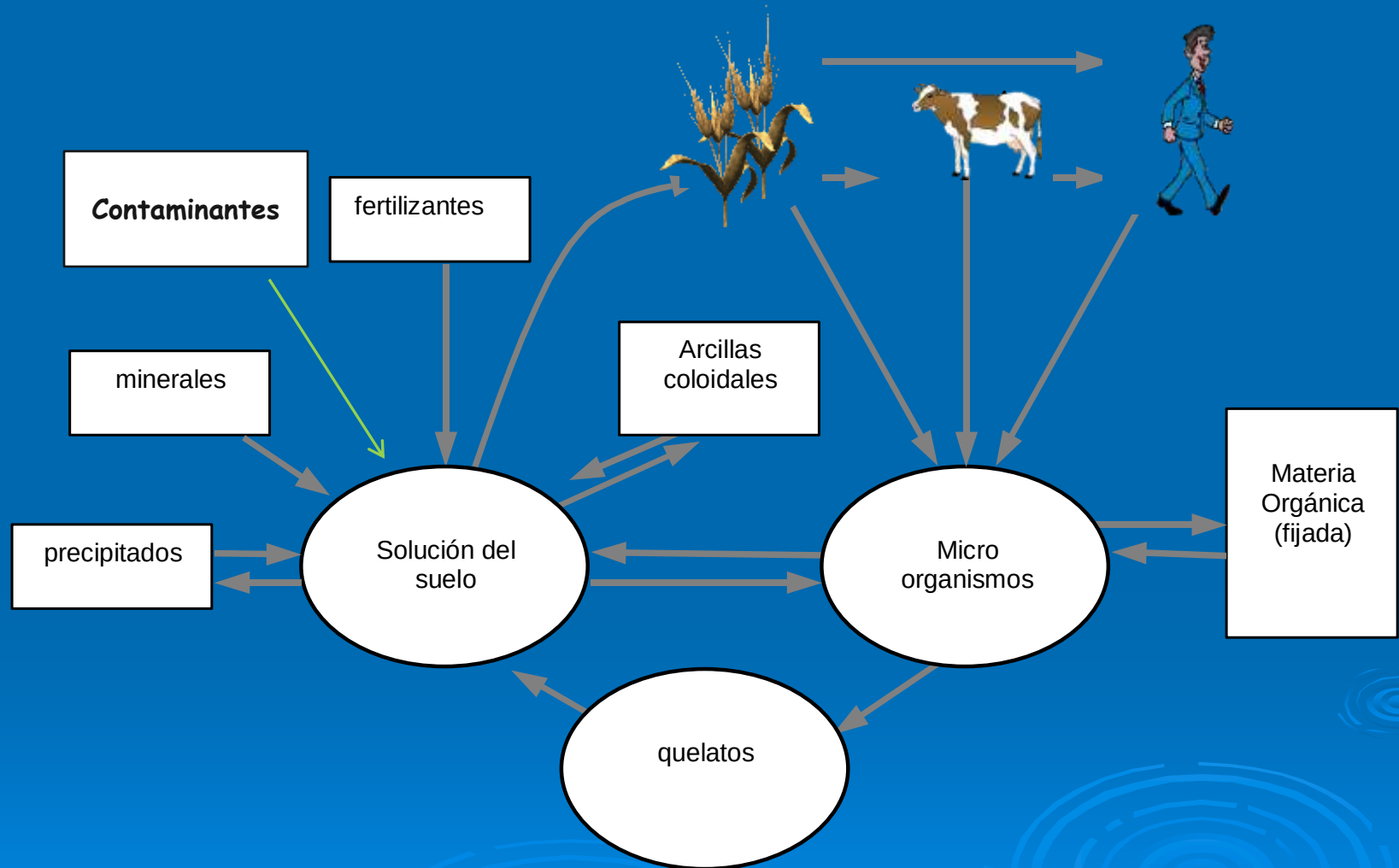
carga crítica

biodisponibilidad

persistencia

movilidad

Ciclo de los EPT en el suelo



adaptado de Kabata Pendías y Pendías, 1992

Disponibilidad relativa de los EPT presentes en el suelo

Forma de retención en el suelo	Disponibilidad relativa
Iones en solución del suelo	Fácilmente disponible
Ión en complejo de cambio	Relativamente disponibles, pues estos metales, por su pequeño tamaño y altas cargas, quedan fuertemente adsorbidos
Metales quelados por compuestos orgánicos	Menos disponibles
Metal precipitado o coprecipitado	Disponible sólo si ocurre alguna alteración química
Incorporado a la matriz biológica	Disponible después de la descomposición
Metal en la estructura mineral	Disponible sólo después de la meteorización

Evaluación de la contaminación con elementos traza

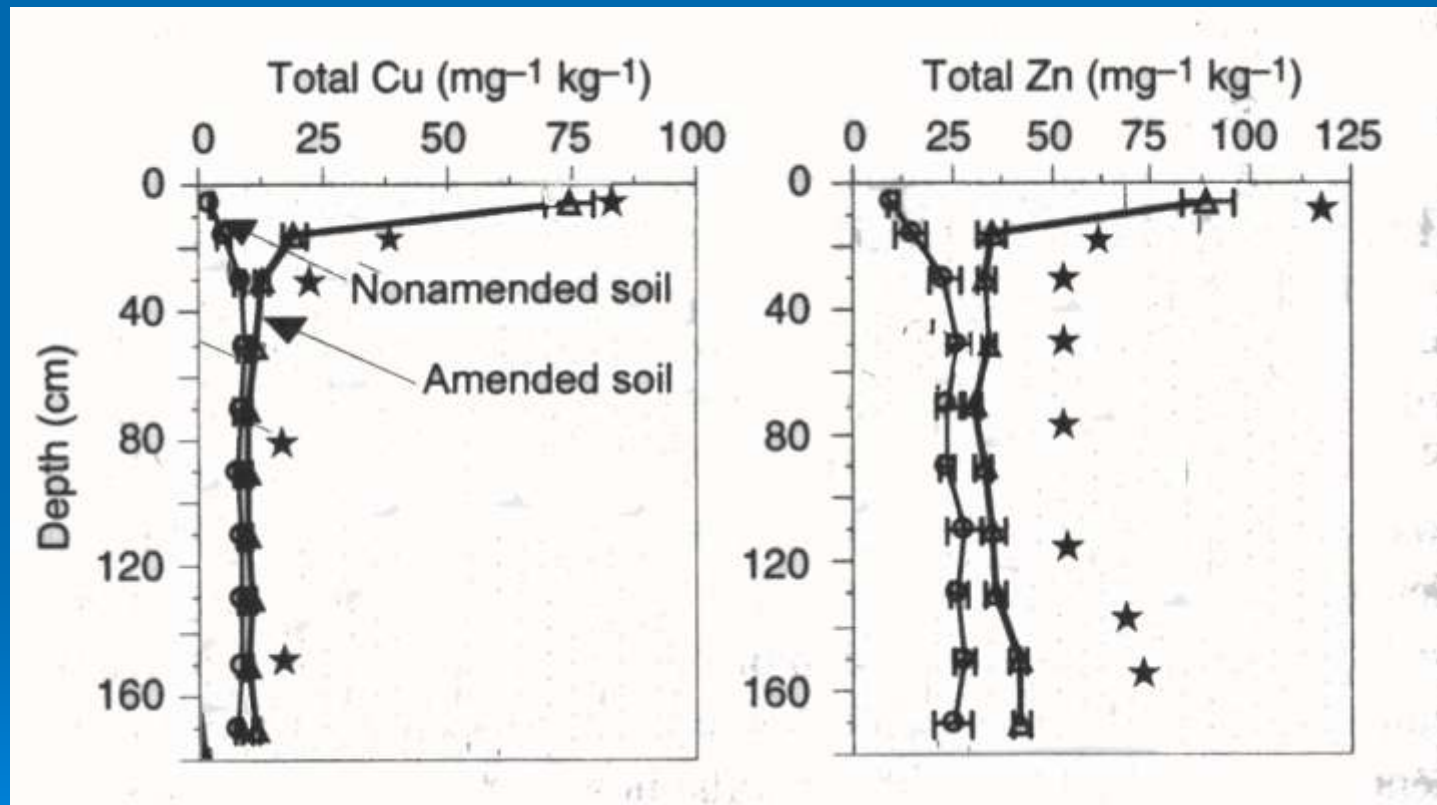
▶ en el suelo:

Concentración total
digestión ácida

Biodisponibilidad
extracción con DTPA/ EDTA

Fraccionamiento secuencial
con fines científicos

Distribución típica de EPT (concentración total) en profundidad en un suelo contaminado



▶ **en la planta:**
concentración total en biomasa

Coeficiente de transferencia: es la concentración del EPT en tejido vegetal frente a su concentración en el suelo.

Máximo: Cd, Tl, Zn, Se y Cu

Medio: Ni

Mínimo: Co, Cr, Hg, Pb, As y Sn

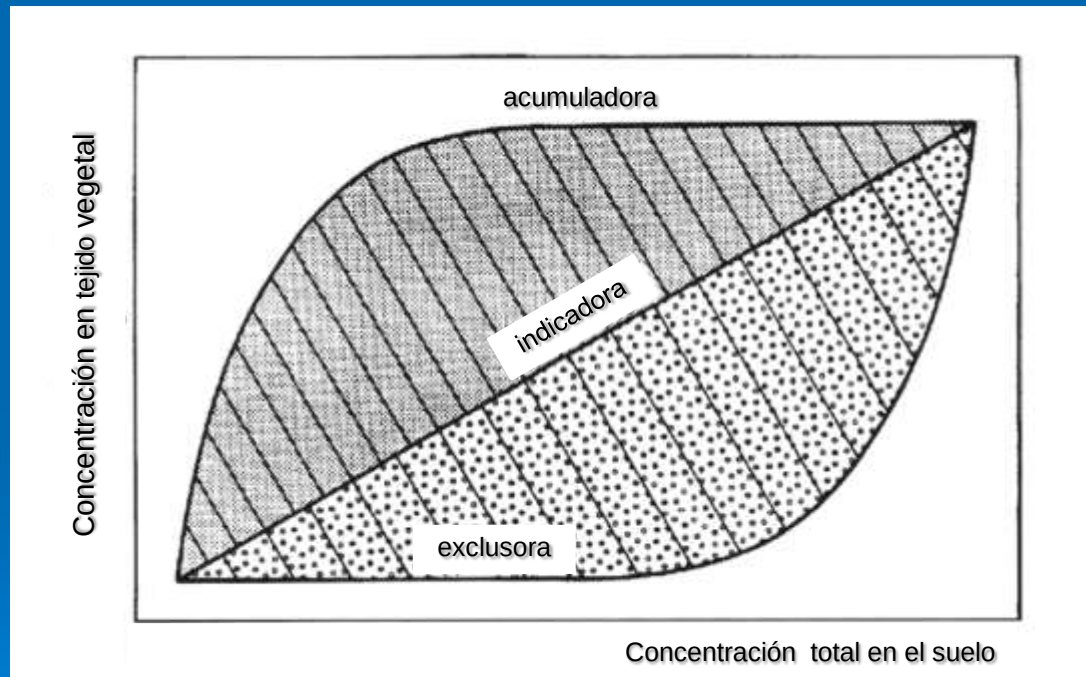
Concentration factors (CFs) for thallium (Tl) and cadmium (Cd) in seedlings of several crops grown on an in situ contaminated soil containing approximately 3 and 4.7 mg.kg⁻¹ of total Tl and Cd, respectively

Crop species	Concentration factor	
	Tl	Cd
<i>Brassica napus</i> L. <i>napus</i>	66	1.7
<i>Sinapis alba</i> L.	1.1	2.0
<i>Hordeum vulgare</i> L.	0.14	0.22
<i>Zea mays</i> L.	0.05	0.18
<i>Triticum aestivum</i> L.	0.05	0.18

CF is defined as the ratio of metal concentration in the seedling top to that in the soil.

McBride, 2003

Diferentes formas de absorción vegetal de EPT en relación a la concentración edáfica



(Markert , 1996).

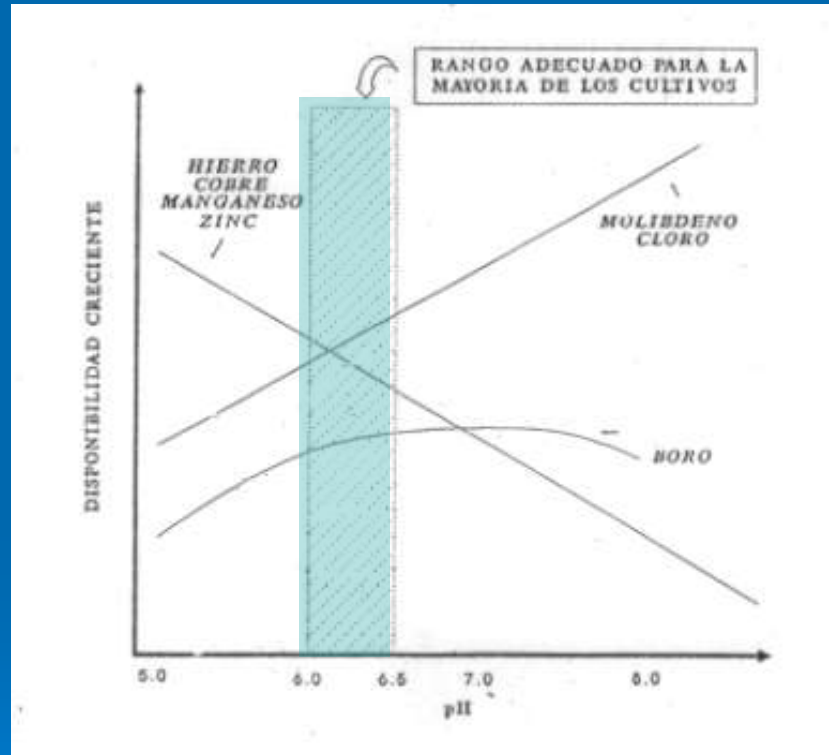
La concentración de las **formas bioasimilables** es una medida directa de la peligrosidad real o presente, mientras que la **concentración total** es utilizada para evaluar procesos de contaminación edáfica



Factores que afectan la biodisponibilidad de EPT

- ✚ pH del suelo
- ✚ Procesos de intercambio catiónico
- ✚ Contenido de materia orgánica
- ✚ Procesos de óxido - reducción
- ✚ Actividad radical

Efecto del pH sobre la disponibilidad de EPT



Procesos de intercambio catiónico

- ✚ **CIC:** caolinita < micas < esmectitas << vermiculitas.
Cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar EPT.

- ✚ **Naturaleza de los EPT:** El poder de adsorción de los EPT depende de su valencia o carga (Z) y del radio iónico (r)

Potencial Iónico : Z/r

a mayor tamaño y menor valencia, mas fuertemente quedan retenidos en el complejo de cambio.

Contenido de materia orgánica

La estabilidad de los complejos orgánicos tiende a seguir la siguiente secuencia:

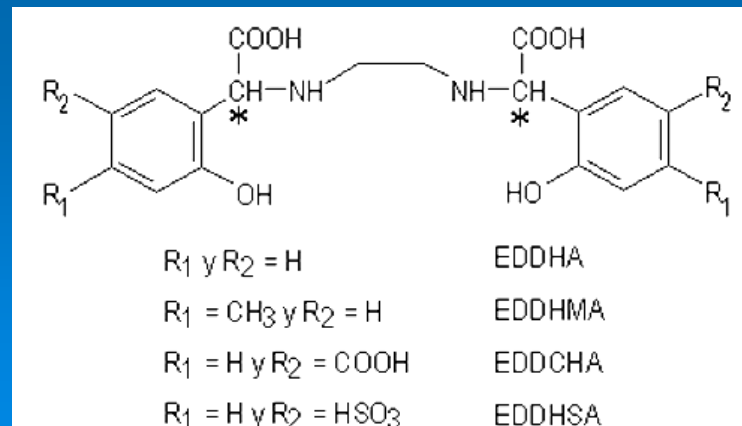
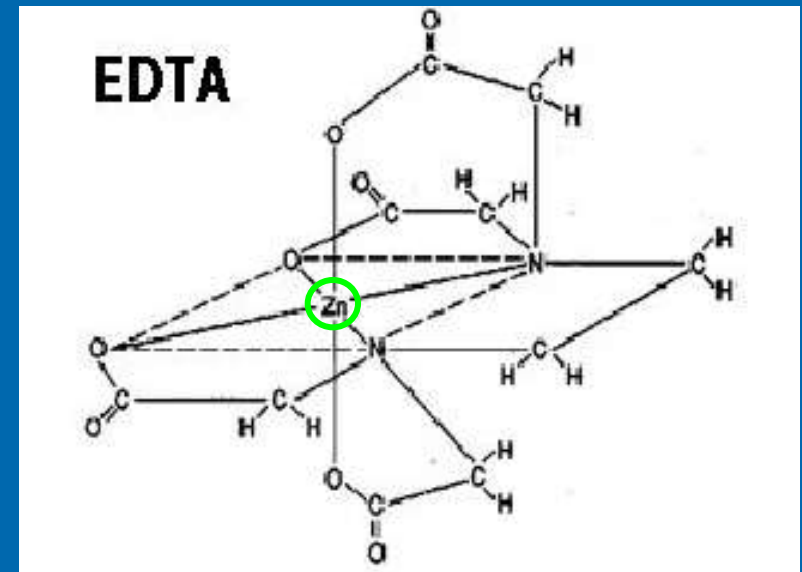
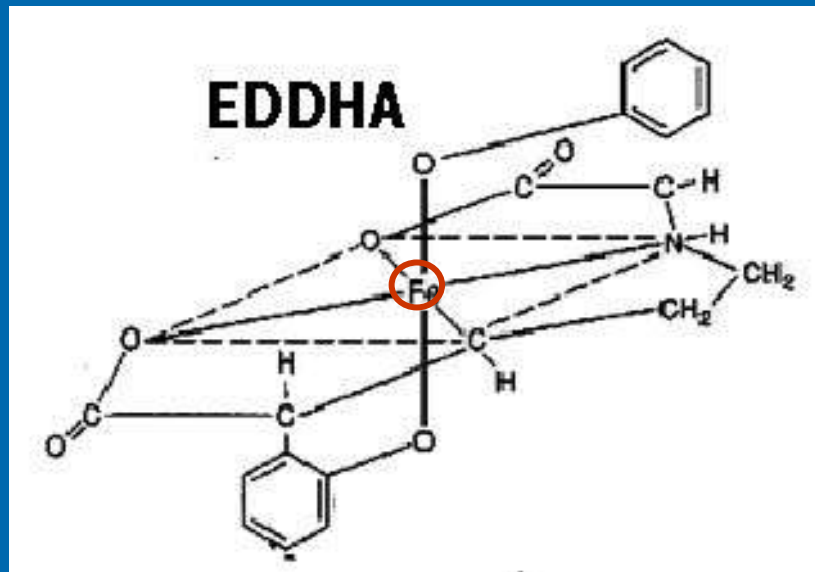


Naturaleza de la materia orgánica

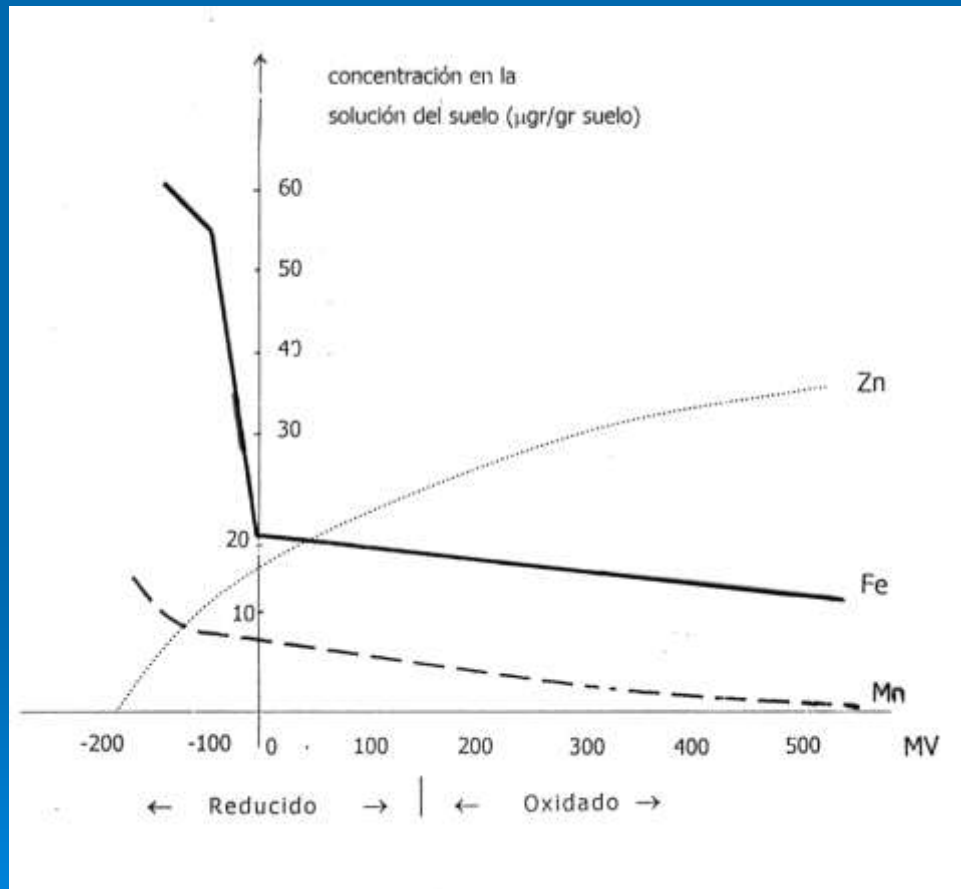
Materia orgánica estable (humus)

Materia orgánica soluble (DOM)

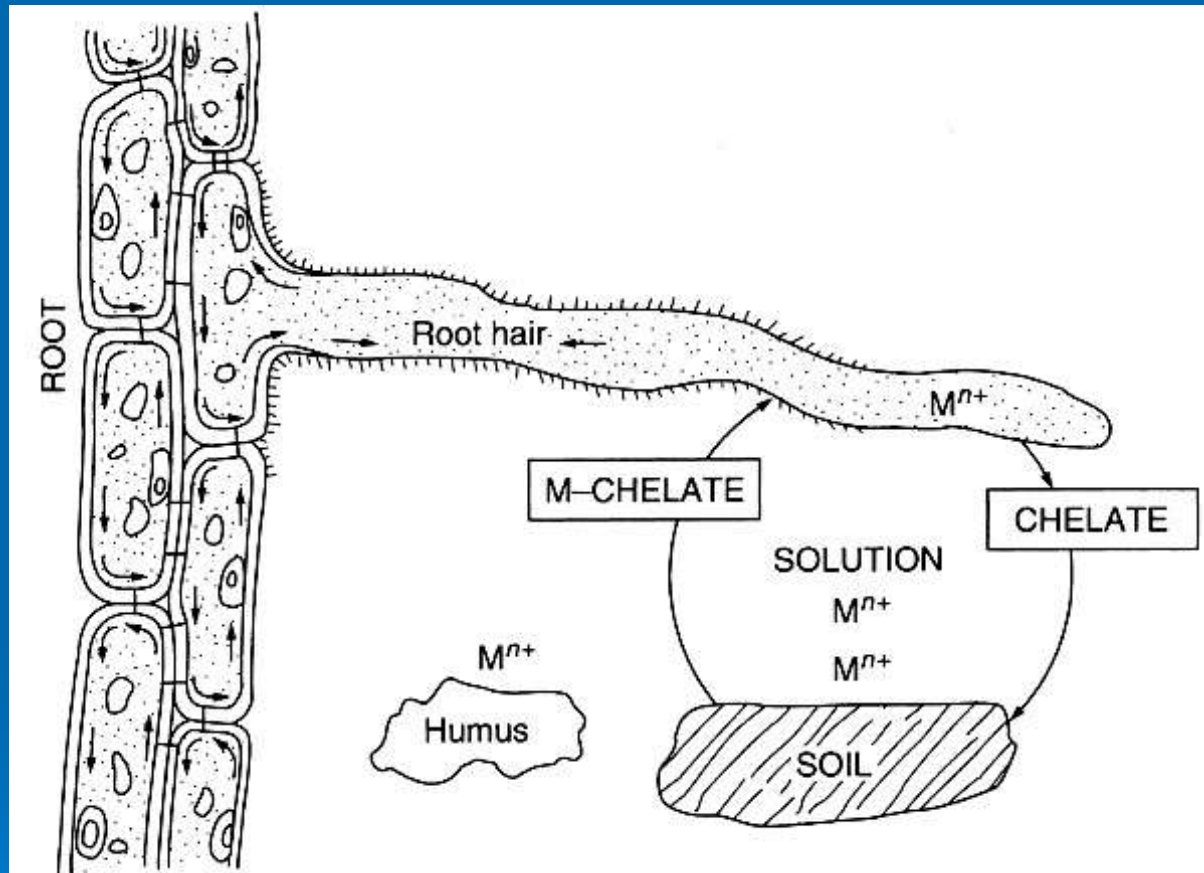
Estructura de algunos agentes quelantes



Procesos de óxido - reducción



Actividad radical



Cycling of chelated micronutrients (M) in soils.
(Lindsay, 1974, *Plant Root and Its Environment*, p. 517, Univ. Press of Virginia.)

Movilidad relativa de EPT según el E_h y pH del suelo

Movilidad	Oxidante	Acido	Neutro y alcalino	Reductor
Alta	Zn	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au		
Media	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd	Cd	Cd	
Baja	Pb	Pb	Pb	
Muy baja	Fe, Mn, Al, Sn, Cr, Zr	Al, Sn, Cr	Al, Sn, Cr, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd, Pb

Cuáles son las fuentes de contaminación ?



Actividades industriales



Actividades agrícola-ganaderas



Actividades urbanas



Efecto de las actividades agrícola-ganaderas





El agua de riego

Calidad del agua de riego

$$CE > 0.75 \text{ dS.m}^{-1}$$

produce

salinización



$$PSI < 15$$

sodificación



$$PSI > 15$$

Aguas de riego arsenicales



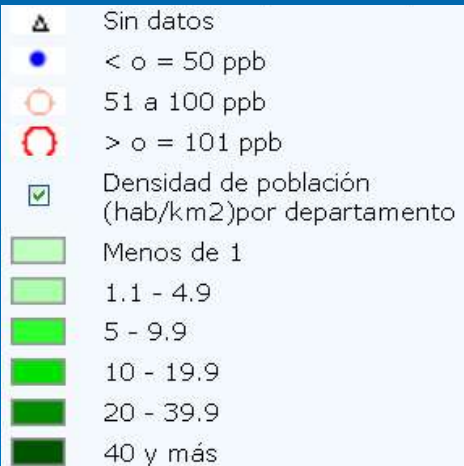
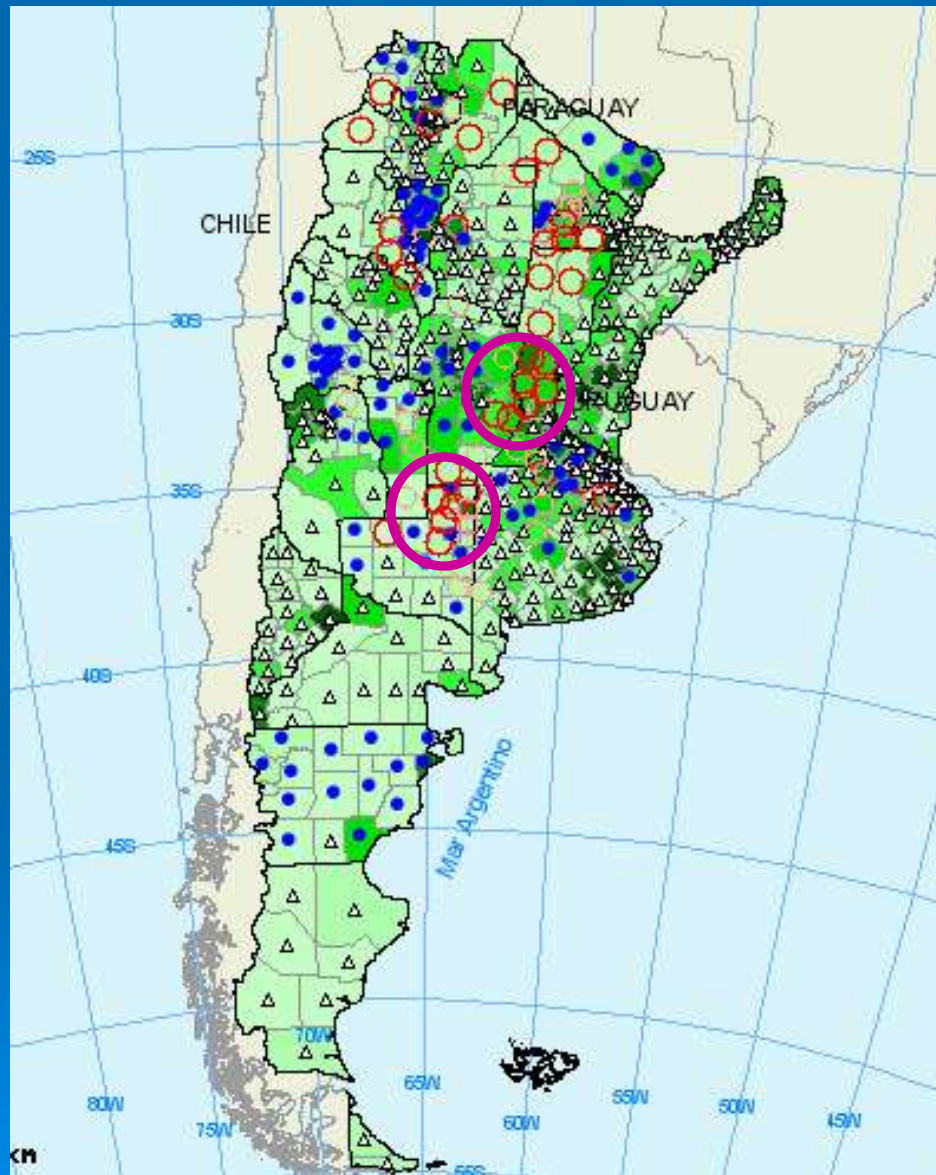
Acumulación de As en los horizontes superficiales

Absorción vegetal

Ingreso a la cadena trófica



Concentración de As en el agua subterránea



----- Elementary geochemical composition of the sand fraction (50–2000 μm)

Depth (cm)	Au (ppb)	Ag (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Hf (ppm)	Hg (ppm)	Ir (ppb)	Mo (ppm)	Na (%)	Ni (ppm)	Rb (ppm)	Sb (ppm)	Sc (ppm)	Se (ppm)	Sn (%)	Sr (%)	Ta (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)
Malleo-Leufu' soil																							
0–30	5	<5	8.6	<30	4	<1	<5	<1	2.04	<32	58	0.3	<3	<3	<0.01	<0.05	<0.5	4.4	1.6	<1	57	16.7	30
30–60	<2	<5	8.3	520	6	<1	<5	<1	2.46	<37	57	0.3	<3	<3	<0.01	<0.05	<0.5	5.6	1.5	<1	60	18.7	36
60–90	<2	<5	12	500	4	<1	<5	<1	2.28	<39	50	0.3	<3	<3	<0.01	<0.07	<0.5	5.3	1.7	<1	59	17	32
90–110	8	<5	22	620	5	<1	<5	<1	2.52	<35	55	0.3	<3	<3	<0.01	<0.07	0.7	5.1	4.9	<1	6	17	32
Las Mostazas soil																							
0–30	<2	<5	12	450	5	<1	<5	<1	1.95	<30	73	0.3	13	<3	<0.01	<0.05	<0.5	6.2	1.5	3	110	21.3	45
30–60	<2	<5	12	360	5	<1	<5	<1	1.95	<41	65	0.5	14	<3	<0.01	<0.05	<0.5	6.1	1.3	<1	120	20	40
60–90	<2	<5	13	410	5	<1	<5	<1	1.86	<41	75	0.4	14	<3	<0.01	<0.05	<0.5	6.5	1.8	<1	88	22.4	45
Pampeano formation																							
200	8	<5	8.9	220	3	<1	<5	<1	1.70	91	37	0.5	9.8	<3	<0.01	<0.05	<0.5	3.9	2	<1	75	14.2	27
300	<2	<5	6.4	350	4	<1	<5	<1	1.03	<34	51	0.4	12	<3	<0.01	<0.05	<0.5	4.4	1.5	2	96	14.6	31

Suelos aluviales: Malleo-Leufu' y Las Mostazas
Suelos derivados del loess pampeano: Pampeano Formation (Pf)

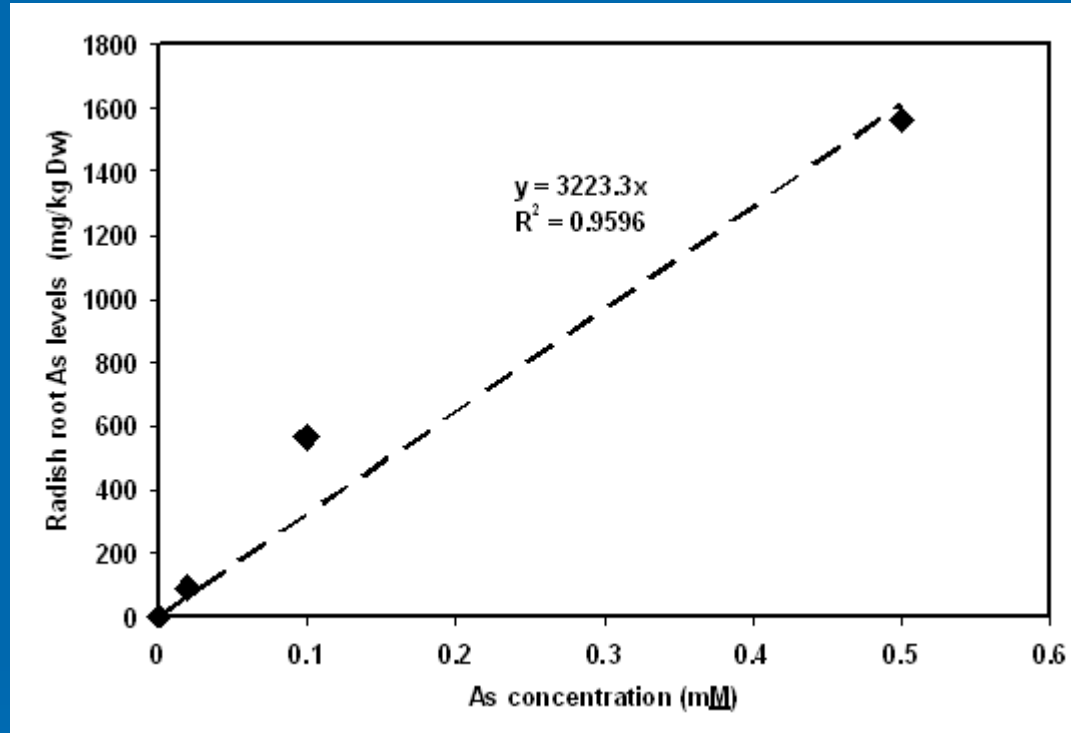
Origen del As:

- vidrio volcánico
- minerales constituyentes de la fracción arenosa del loess.

Blanco et al, 2006

Countries affected by arsenic contamination and maximum with permissible limits for drinking water

Country	Maximum permissible limits ($\mu\text{g/L}$)	References
Argentina	50	[4,406–410,540]
Bangladesh	50	[25,403,411–423]
Cambodia		[424]
China	50	[1,425–428,600]
Chile	50	[429–434,599]
India	10	[24,25,29,150,435–449]
Japan	–	[450]
Mexico	50	[23,163,451–454]
Nepal	50	[455]
New Zealand	10	[456–459]
Taiwan	10	[1,425,460–462]
USA	10	[22,32,33,463–469]
Vietnam	10	[470,471]



Concentración de As en raíces de rábano en función de la concentración de As(V) en tratamientos hidropónicos (Grossl et al, 2004)

Partición de As en arroz como consecuencia del uso de aguas de riego arsenicales

Total As concentrations in rice plant tissues (Smith et al., 2008).

Rice tissue	Arsenic concentration (mg kg ⁻¹ DW) ^a
Root	248 ± 65
Shoot	19 ± 3.8
Leaf	11.6 ± 2
Grain	1.25 ± 0.23
Certified reference material GBW07603	1.1 ± 0.13 (certified value 1.25 ± 0.10)

^a Values represents average and standard deviation of triplicate analysis.

Concentración de As en el agua de riego: $1.5 \pm 0.3 \text{ mg L}^{-1}$

China es el único país que estableció un límite máximo de As inorgánico en arroz, de $0.15 \mu\text{g g}^{-1} \text{ dw}$,

La FAO/WHO estableció una ingesta diaria admisible de **$15 \mu\text{g}$ As inorgánico /semana/kg masa corporal**

An aerial photograph of a vast agricultural landscape. In the center, a large, rectangular experimental plot is visible, divided into numerous smaller, parallel strips of varying colors (green, brown, and yellow), likely representing different fertilizer treatments. The surrounding area consists of large, open fields in various shades of green and brown, with some clusters of trees and a few small buildings in the distance. The sky is clear and blue.

Los fertilizantes fosforados y los EPT



Fertilizantes fosforados



Concentración de metales pesados en roca fosfórica según su origen

País	Depósito	Reactividad	P ₂ O ₅ (%)	As	Cd	Cr	Pb	Se	Hg (µg/kg)	U (mg/kg)	V
----- (mg/kg) -----											
Argelia	Djebel Onk	Alta	29,3	6	13	174	3	3	61	25	41
Burkina Faso	Kodjari	Baja	25,4	6	<2	29	<2	2	90	84	63
China	Kaiyang	Baja	35,9	9	<2	18	6	2	209	31	8
EE.UU.A.	Carolina del Norte	Alta	29,9	13	33	129	3	5	146	41	19
EE.UU.A.	Florida Central	Media	31,0	6	6	37	9	3	371	59	63
India	Mussoorie	Baja	25,0	79	8	56	25	5	1 672	26	117
Jordania	El Hassa	Media	31,7	5	4	127	2	3	48	54	81
Malí	Tilemsi	Media	28,8	11	8	23	20	5	20	123	52
Marruecos	Khouribga	Media	33,4	13	3	188	2	4	566	82	106
Níger	Parc W	Baja	33,5	4	<2	49	8	<2	99	65	6
Perú	Sechura	Alta	29,3	30	11	128	8	5	118	47	54
Senegal	Taiba	Baja	36,9	4	87	140	2	5	270	64	237
Siria	Khneifiss	Media	31,9	4	3	105	3	5	28	75	140
Tanzanía	Minjingu	Alta	28,6	8	1	16	2	3	40	390	42
Togo	Hahotoe	Baja	36,5	14	48	101	8	5	129	77	60
Túnez	Gafsa	Alta	29,2	5	34	144	4	9	144	12	27
Venezuela	Riecito	Baja	27,9	4	4	33	<2	2	60	51	32

Concentración de isótopos radiactivos naturales en fosfatos de calcio según su origen

Activity concentrations of natural radionuclides in phosphogypsum in foreign countries (Bq kg⁻¹)

Country/region	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²³⁸ U	²³² Th	²²⁸ Ra	⁴⁰ K	References
Central Florida	958 (780–1290)	—	—	—	—	—	Roessler et al., 1979
	820 (340–2000)	—	76	3.7	—	—	May and Sweeney, 1984a,b
	1100 (836–1230)	1370 (1270–1430)	130 (93–190)	—	—	—	Horton et al., 1988
	1140 (844–1670)	—	—	—	—	—	Guidry, 1990
	907 (505–1353)	860 (578–11,833)	132 (45–368)	—	—	—	Hull and Burnett, 1996
North Florida	500 (477–548)	—	—	—	—	—	Roessler et al., 1979
	433 (270–598)	435 (347–553)	130 (23–452)	—	—	—	Hull and Burnett, 1996
Louisiana	1100 (700–1700)	—	—	—	—	—	Laiche and Scott, 1991
Mississippi	780	—	—	—	—	—	Mullins and Mitchell, 1990
Alberta, Canada	890	—	—	5.8	—	—	Luther et al., 1993
Australia	451	—	—	10	—	—	Beretka and Mathew, 1985
	500	—	510	10	—	20	Beretka, 1990
Sweden	15	—	—	62	—	—	NEA/OECD, 1979
Hungary	1093	—	—	—	68	—	Fourati and Faludi, 1988
Yugoslavia	390	—	—	—	—	—	Kobal et al., 1990

Range values are given within brackets.

Papastefanou et al, 2006



Vida media de algunos isótopos radioactivos

Isotope	Half-life
Plutonium-241	13 years
Plutonium-239	24 000 years
Iodine-131	8 days
Iodine-129	160×10^6 years
Strontium-90	28 years
Caesium-137	30 years

Sistemas de Ganadería intensiva







24/04/2008

Sistemas de ganadería intensiva

- presentan una elevada carga animal en superficies reducidas
- utilizan dietas de alta concentración energética y digestibilidad
- grandes cantidades de estiércol en zonas localizadas
- eficiencia de aprovechamiento de micronutrientes : 10%.
- el estiércol presenta una elevada tasa de mineralización y existe una importante tasa de lixiviación de nitratos
- puede convertirse en una fuente puntual de contaminación

Macronutrientes en estiércol de distinto origen

Producto	M.S.%	contenido en kgs/tm		
		N.	P ₂ O ₅	K ₂ O
Vacuno	32	5	3	6
Ovino	35	14	5	12
Porcino	25	4	4	5
Gallinaza	28	15	16	9

Caracterización del alimento y de las heces obtenidos en los lotes de engorde

Componente	Unidades	Alimento*	Heces**
Humedad	(%)	3,2	84,2
pH	suelo:agua (1:2,5)	6,4	6,8
CE		5,4	3,8
MO	(%)	91,0	50,9
N		2,4	1,7
C/N		21,1	16,0
P	(%)	0,7	0,7
Ca		2,4	2,6
Mg		1,4	1,9
Na		1,0	1,6
K		1,2	1,4
As	µg g ⁻¹	< 0,2	6,4
Pb		20,6	13,5
Cu		25,4	12,8
Zn	mg g ⁻¹	0,053	0,079

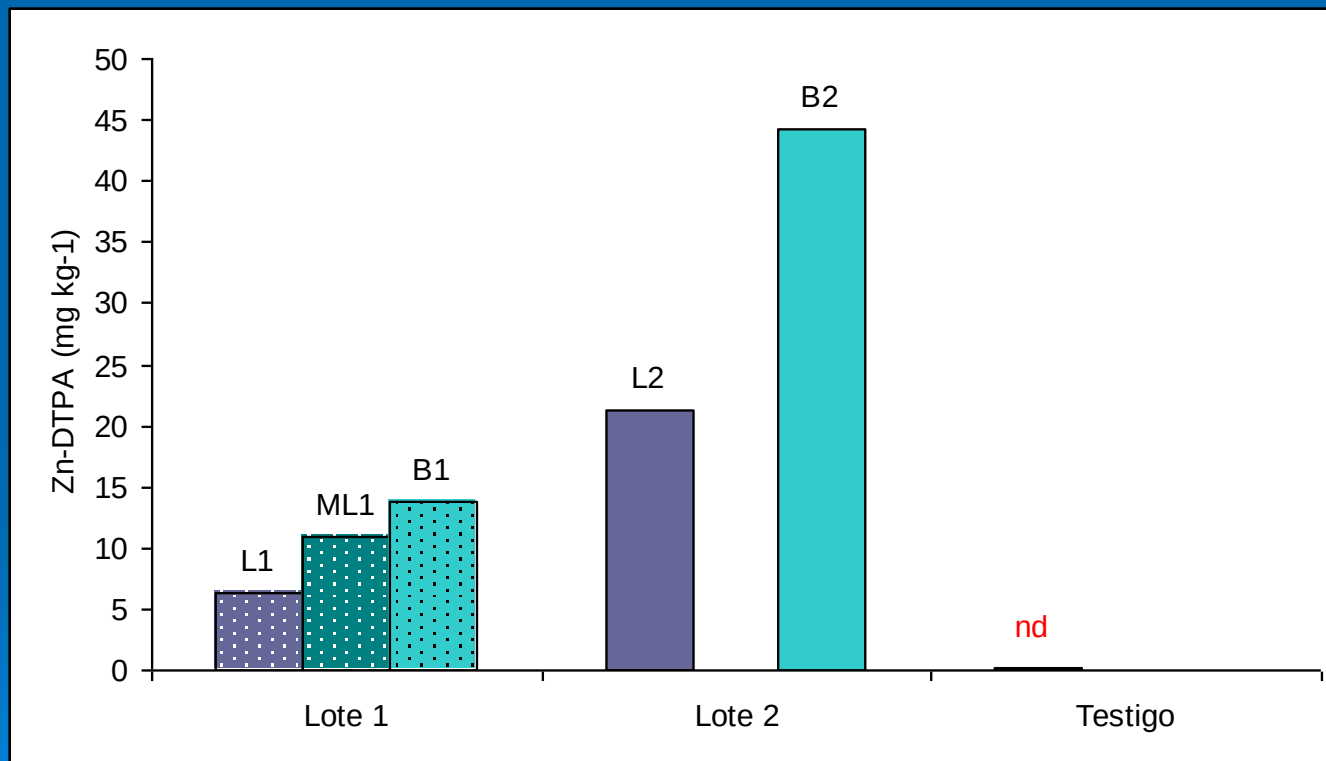
Concentración de metales pesados en guano o estiércol en la década de 1990 en Alemania.

Material	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
	----- mg kg ⁻¹ -----						
Guano de bovino	0,43	5,5	44,5	5,2	8,5	225	0,05
Guano de cerdo	0,68	8,4	443	18,6	8,9	1035	0,04
Guano de pollo	0,25	4,4	63	8,1	7,2	430	0,02
Feca de bovino	0,44	5,0.	39	10,0	7,0	213	NA ¹
Feca de cerdo	0,43	11,0	740	13,0	NA	1220	NA
Feca de pollo	0,36	12,0	69,75	9,0	NA	. 406	0,05

Fuente: Diferentes fuentes mencionadas en Eurich-Menden et al. (1996); Poultry-dung: Diez-Müller (1997)

¹ NA = no analizado

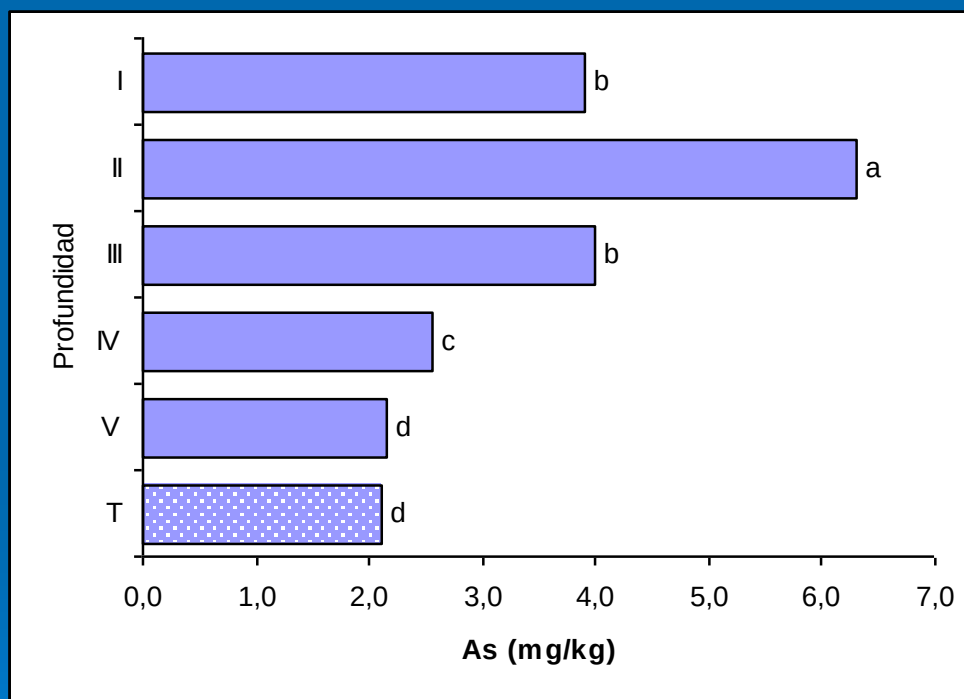
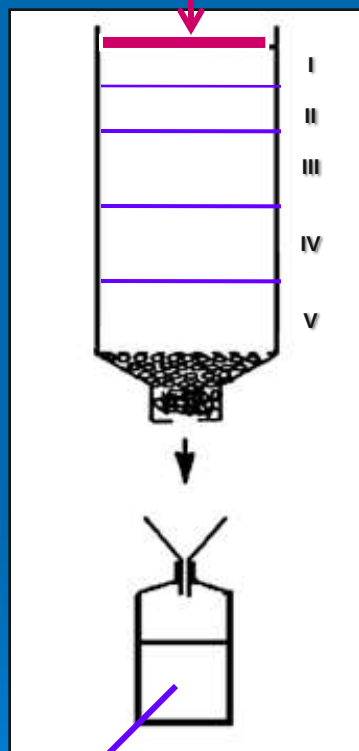
Concentración de Zn extractable con DTPA en el lote 1 (loma, L1; media loma, ML1 y bajo, B1) obtenidas de 0 a 0.4-0.9 cm de profundidad; en lote 2 (loma, L2 y bajo, B2), obtenidas de 0 a 0.12-0.15 cm de profundidad. nd: Zn-DTPA < 2.5 mg kg⁻¹



Lote 1 Lote 2
- historia , - cabezas + historia , + cabezas

Lixiviación de As en columnas de suelo con aplicación superficial de estiércol proveniente de ganadería intensiva (Torri et al, 2009)

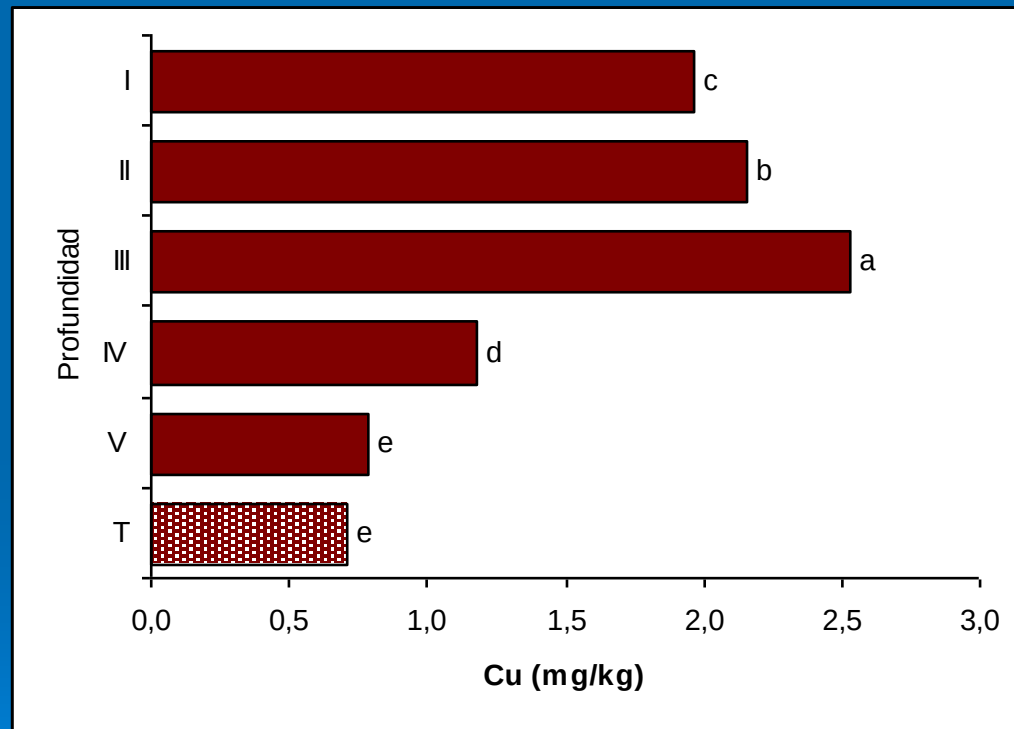
- 1) Estiércol
- 2) Agua



I: 0-1.75 cm, II: 1.75-3.5 cm, III: 3.5-7 cm, IV: 7-10.5 cm, V: 10.5-14 cm.
T: control. Letras distintas indican diferencias significativas (Tuckey, $p < 0.05$)

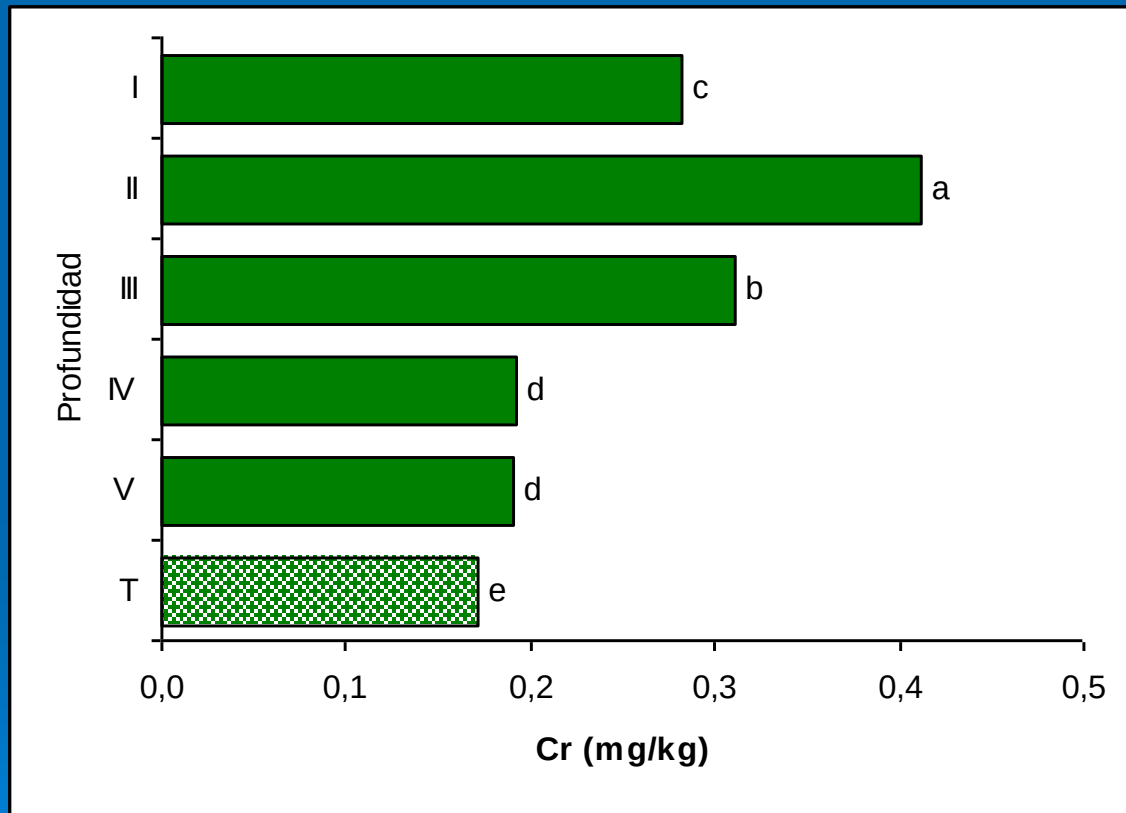
Lixiviados

Lixiviación de Cu en columnas de suelo con aplicación superficial de estiércol proveniente de ganadería intensiva (Torri et al, 2009)



I: 0-1.75 cm, II: 1.75-3.5 cm, III: 3.5-7 cm, IV: 7-10.5 cm, V: 10.5-14 cm
T: control. Letras distintas indican diferencias significativas (Tuckey, $p < 0.05$).

Lixiviación de Cr en columnas de suelo con aplicación superficial de estiércol proveniente de ganadería intensiva (Torri et al, 2009)



I: 0-1.75 cm, II: 1.75-3.5 cm, III: 3.5-7 cm, IV: 7-10.5 cm, V: 10.5-14 cm.
T: control. Letras distintas indican diferencias significativas (Tuckey, $p < 0.05$).

Efecto de las actividades industriales



Emisiones de metales pesados a la atmósfera y
Exposición teórica y real en suelos de Alemania (1995).

	Pb	Cu	Cd	Zn	Cr	Ni	Hg
	----- t ha ⁻¹ año ⁻¹ -----						
Emisiones ¹	1540	195	27	1116	284	393	77
	----- g ha ⁻¹ año ⁻¹ -----						
Depositación teórica	17,48	2,21	0,31	12,66	3,22	4,45	0,87
Depositación húmeda real	16,2	19,1	1,2	142,3	-	-	-
	6,8 - 34,4	8,9 - 58,7	0,7 - 2,5	33,4 - 717,5			

Fuente: von Sothen, 2001
¹ UBA, 1997

Industrias metalúrgicas



Suelo contaminado con cianuro, de una galvanoplastía

Otros procesos industriales

residuos sólidos o líquidos



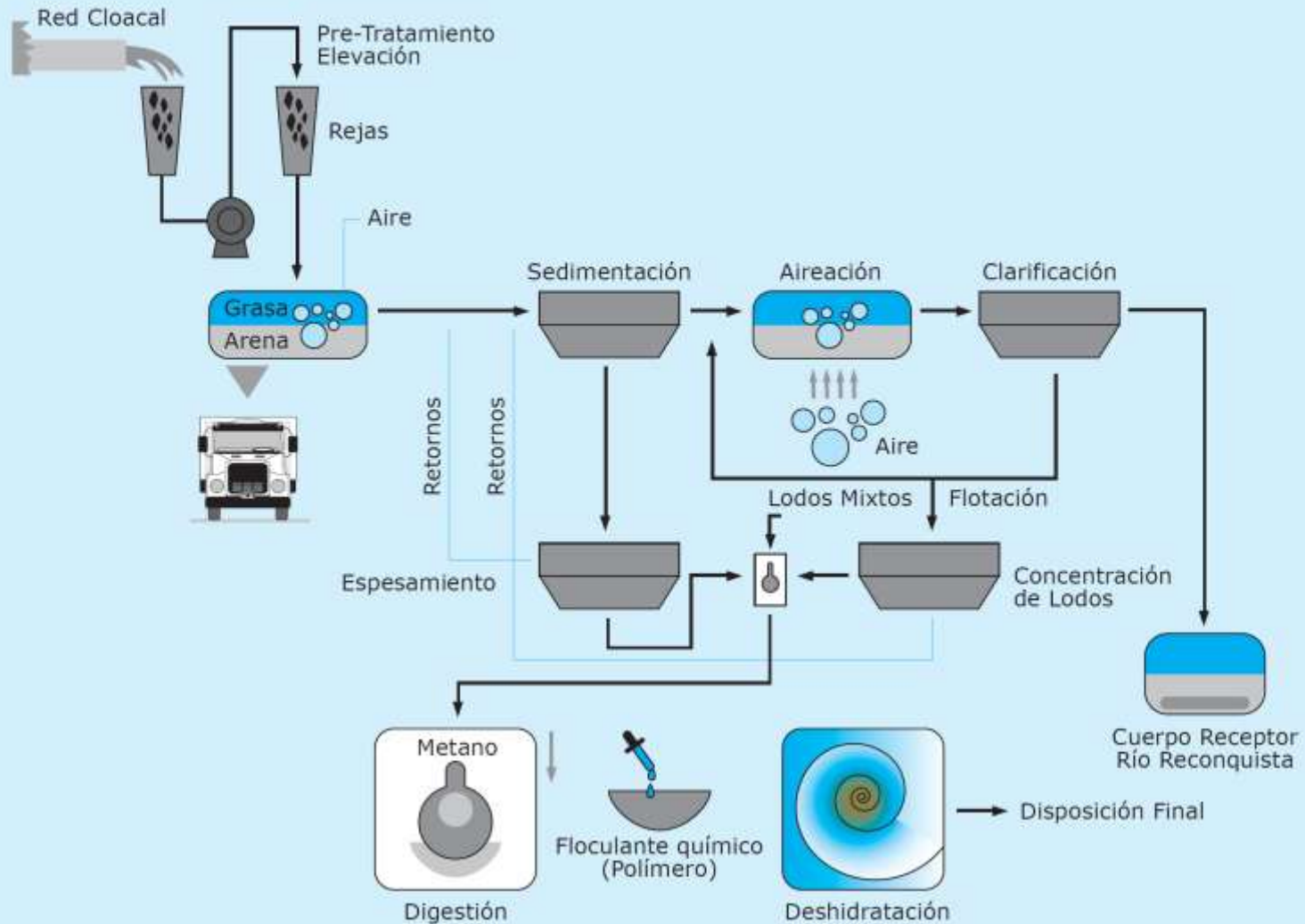
Actividad urbana



Efecto ambiental de la vida urbana

- recolección, procesamiento y disposición de los **residuos domiciliarios**
- **gases y aerosoles** debido al uso de vehículos de combustión interna
- residuos de las plantas de tratamiento de **líquidos cloacales**

Tratamiento de efluentes domiciliarios





www.a



Posible destino

La valorización agrícola de los biosólidos es una opción viable para dar un uso racional a estos desechos orgánicos, y paralelamente, aportar nutrientes a los cultivos.

El uso de biosólidos como fuente de materia orgánica mejora las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas, reflejándose en un incremento en el rendimiento de los cultivos.



Carbono total en función del tiempo en tres suelos enmendados con biosólidos

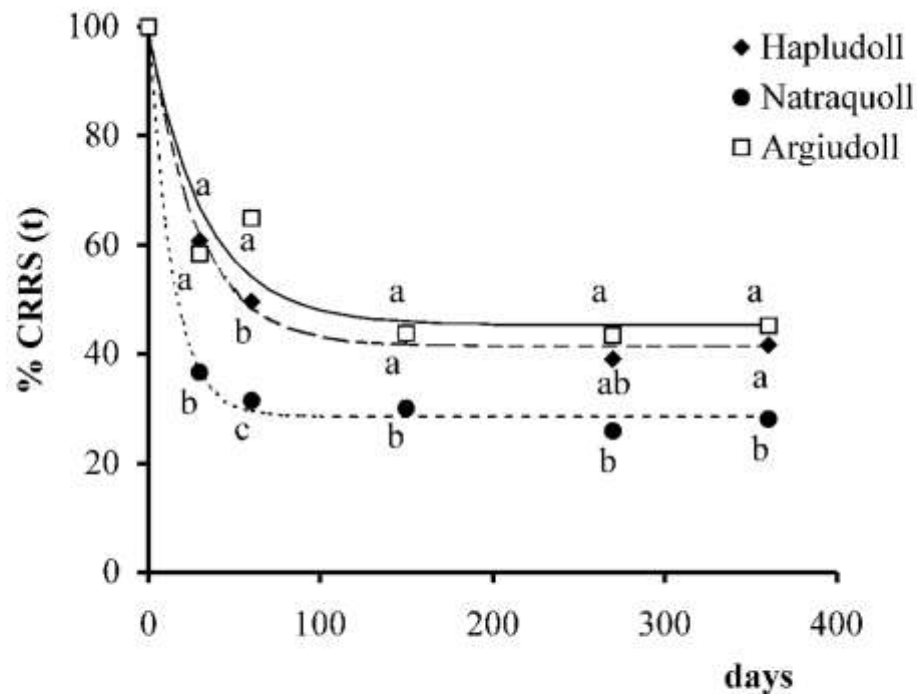


Figure 1. Percent residual carbon from sewage sludge (%CRSS) in a Typic Hapludoll, a Typic Natraquoll and a Typic Argiudoll as a function of time of incubation. Same letters for each date of measurement show no significant differences between treatments.

Ensayo en invernáculo - raigrás con biosólido.



Torri et al, 2006

Inconvenientes

- Baja relación N/P, puede elevar en demasía el nivel de P disponible de suelo y dar origen a un problema de eutroficación de cursos de agua.
- Acumulación de elementos traza.
- Contaminación de aguas subterráneas con nitratos.
- Presencia de patógenos y parásitos que son inherentes a este tipo de productos y no completamente eliminados en las plantas depuradoras con procedimientos anaeróbicos.

Barros cloacales (biosólidos)

Elementos Potencialmente Tóxicos

Metal	UE	USEPA	SENASA	Biosólidos(1)	Biosólido (2)
Arsénico	41-75	-	-	15,1	-
Cadmio	20-40	39-85	39-85	8,9	4,19
Cinc	2500-4000	2800-7500	2800-7500	1829,3	1560
Cobre	1000-1750	1500-4300	1500-4300	375,9	627,7
Cromo	-	1200-3000	1200-3000	342,3	160,7
Níquel	300-400	420	420	298,0	86,5
Plomo	750-1200	300-840	300-840	227,1	408,5

Concentración de Zn en el primer y tercer corte de raigrás

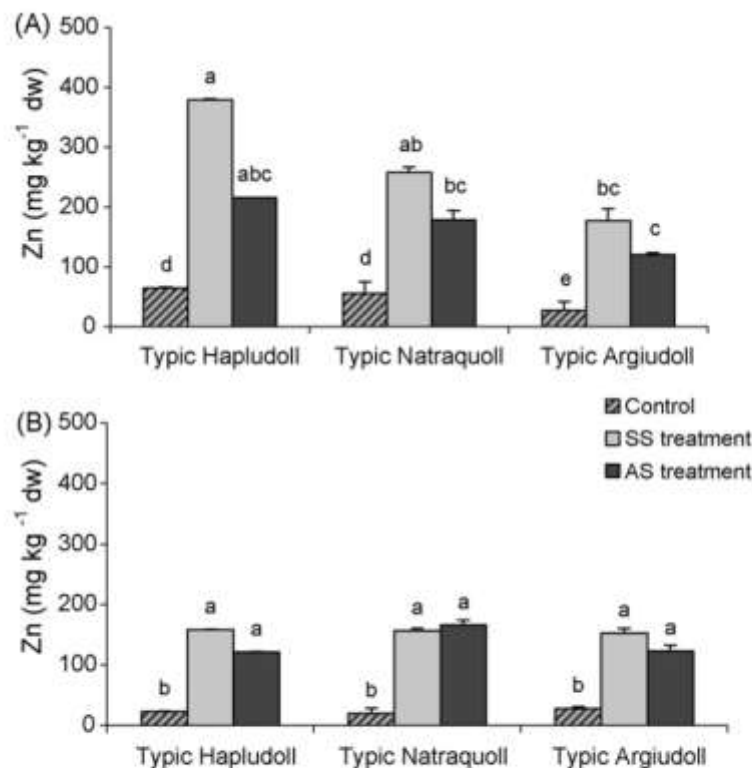


Fig. 2. Accumulation of Zn (mg kg⁻¹ dw) in shoot of *Lolium perenne* L. grown in unamended and 150 dry t/ha SS or AS-amended soils (Mean $\pm$ SE) in the 1st harvest (A) and in the 3rd harvest (B). Error bars show the standard deviations. Bars with different letters in each group show significant difference at $p < 0.05$ (Tukey).

Concentración de Cu en el primer y tercer corte de raigrás

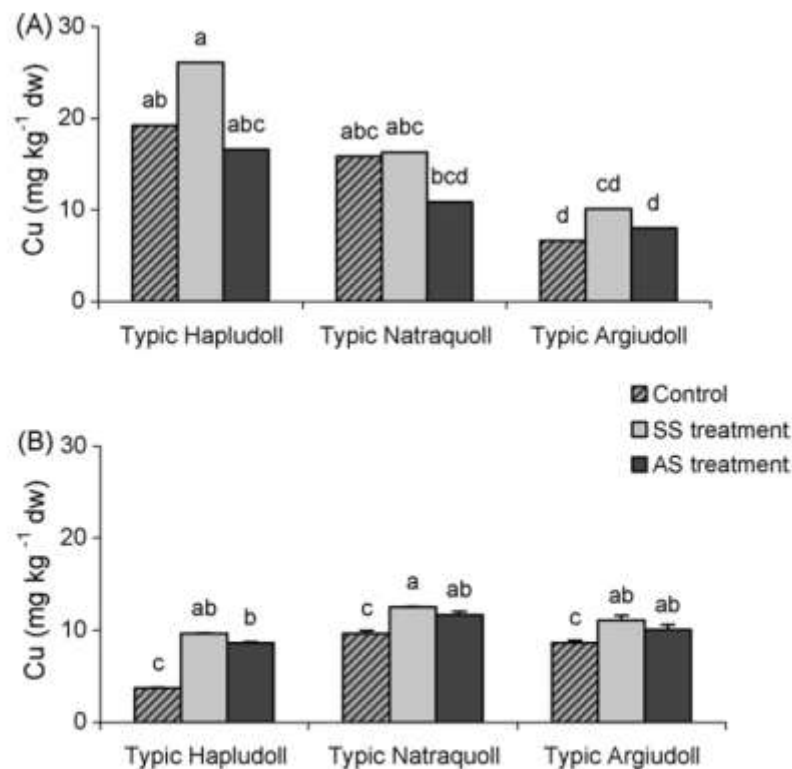


Fig. 1. Accumulation of Cu ($\text{mg kg}^{-1} \text{ dw}$) in shoot of *Lolium perenne* L. grown in unamended and 150 dry t/ha SS or AS-amended soils (Mean $\pm$ SE) in the 1st harvest (A) and in the 3rd harvest (B). Error bars show the standard deviations. Bars with different letters in each group show significant difference at $p < 0.05$ (Tukey).

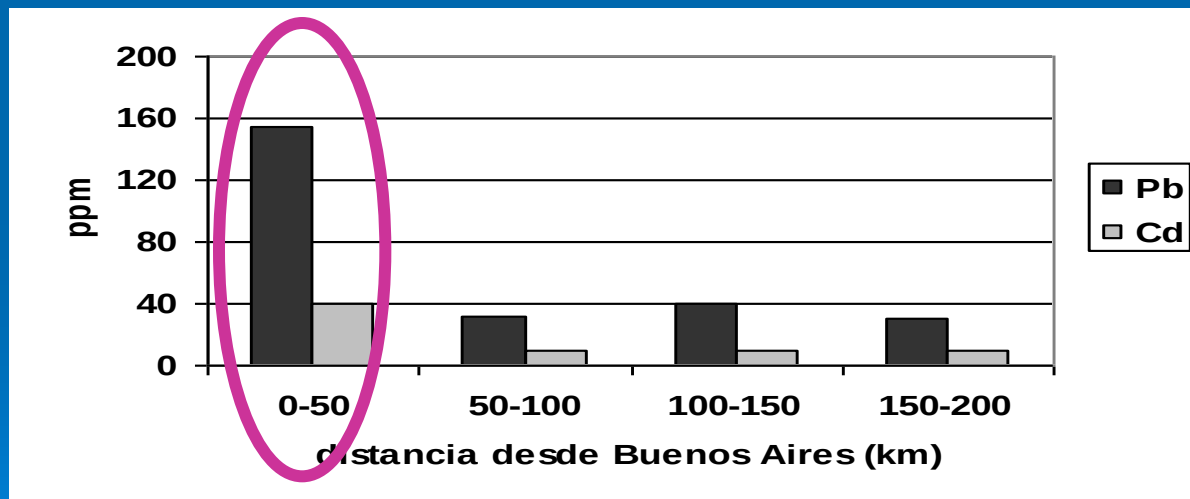
Correlaciones obtenidas entre la concentración de Cu y Zn en biomasa aerea y en distintas fracciones del suelo

Table 5
Significant correlations between Cu and Zn contents in plant samples of *L. Perenne* and Cu or Zn contents in soil fractions or soil properties

			Adjusted r^2
Cu	3° cut	$3.14 + 0.37 \text{ OM-Cu}$	0.7565
		$2.34 + 0.54 \text{ INOR-Cu}$	0.8021
		$2.31 + 0.15 \text{ OM-Cu} + 0.35 \text{ INOR-Cu}$	0.8252
Zn	1° cut	$64.84 + 7.19 \text{ EXCH-Zn}$	0.45
		$-212.16 + 7.68 \text{ EXCH-Zn} + 13.70 \text{ CEC}$	0.62
	3° cut	$50.08 + 4.01 \text{ EXCH-Zn}$	0.48
		$50.41 + 5.71 \text{ OM-Zn}$	0.51
		$34.01 + 1.03 \text{ INOR-Zn}$	0.70
		$19.97 + 1.77 \text{ EXCH-Zn} + 2.35 \text{ OM-Zn} + 0.55 \text{ INOR-Zn}$	0.82

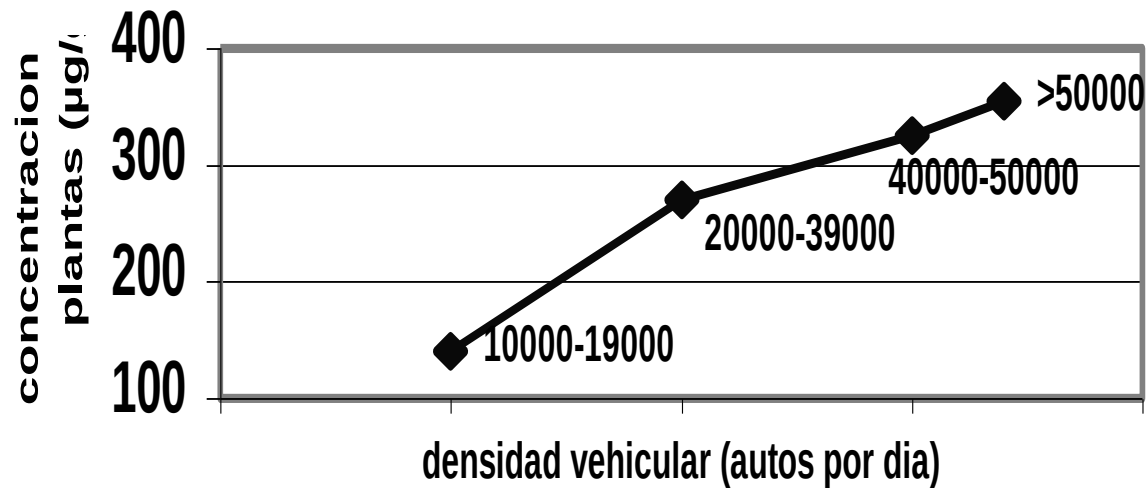
Tránsito vehicular

La actividad vehicular supone un intenso aporte de metales pesados a la atmósfera, entre los que se destacan el Pb y el Cd



Concentración en suelo de Pb y Cd (por 10) según la distancia a Buenos Aires (Lavado et al., 1998).

Concentración de Pb en plantas según la densidad vehicular (Fergusson, 1990).



Principales fuentes antropogénicas de contaminación por metales pesados en suelos europeos.

Fuente ¹	Cadmio	Cobre	Plomo	Zinc
Depositación atmosférica	+	+	+++	+
Plaguicidas ²	-	+/++	-	+/++
Estiércol y purines	+	++	+	++
Fertilizantes minerales ²	+++ ³	+/++	+	+
(Principalmente fosfatos)				
Lodos de aguas residuales ²	+/++	+/++	+/++	+/++

Fuente: Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente. Holanda (1992)

¹ Además, existen otras fuentes: lluvia ácida (solubiliza los cationes); incineración de residuos, transporte.

² Pueden existir diferencias importantes según la legislación de cada país.

³ Ligado especialmente a los fosfatos minerales

- Sin aporte; + aporte bajo; ++ aporte moderado; +++ aporte alto

Consideraciones finales

Existen diversas fuentes de contaminación antrópica.

La contaminación originada por la actividad agrícola puede minimizarse a través del conocimiento del insumo utilizado

Un adecuado manejo del estiércol y efluentes en los sistemas de ganadería intensiva minimizaría el impacto negativo de esta tecnología

Los contaminantes inorgánicos se acumulan en los suelos, pueden ser absorbidos por los cultivos e ingresar a la cadena trófica.

El correcto manejo de efluentes y residuos industriales minimizará la contaminación de los ecosistemas



Bibliografía

Madrid L. 1999. Metal retention and mobility as influenced by some organic residues added to soils: A case study. En: Fate and transport of heavy metals in the vadose zone. Lewis Publishers, Boca Ratón, FL. 201-223.

Trace Elements from Soil to Human. 2007 Kabata-Pendias, Alina, Mukherjee, Arun B. (Eds)

Trace Elements in Soil: Bioavailability, Flux, and Transfer. 2001. I.K. Iskandar, Mary B. Kirkham (Eds)